

周辺地盤の影響と地震後の供用性を考慮した既設 RC 固定アーチ橋の耐震性能評価

西日本高速道路株式会社 正会員 後藤 源太
株式会社建設技術研究所 正会員 ○川井 菜緒, 松本 崇志

1. はじめに

西日本高速道路四国横断自動車道に架かる RC 固定アーチ橋の淋シ谷橋は、表-1 および図-1, 2 に示すように鉄筋コンクリート製のアーチリブと側壁からなる構造形式で、一般的な土砂で内空が充填されている。よって、アーチリブは大規模地震時に中詰め土や周辺地盤の影響を大きく受けると考えられるため、道路橋示方書¹⁾に記載される一般的な耐震設計の考え方をそのまま適用できない。したがって、構造の特殊性を考慮して設定した要求性能を満足するための限界状態を設定し、応答変位法、および応答変位法により周辺地盤の影響を考慮した動的解析を用いてアーチリブの耐震性能を評価した。さらに、基部が損傷した場合の供用性と復旧性に着目した検討を行った。

2. 耐震性能照査方針

本橋は高速道路橋であり、地震後の復旧活動等の緊急輸送確保のためにも必要とされる路線であることから、重要度が高い。よって、橋梁の要求性能は耐震性能 2 とし、部材を弾性範囲内に留めることとして限界状態を設定した。ただし、断面力が大きくなるアーチリブ基部においては、当該箇所が万が一損傷したことを想定した解析により、冗長性（リダンダンシー）の観点で耐震性能を評価した。

3. 現況耐震性能照査

3.1 解析モデル

アーチリブの橋軸方向に対して耐震性能照査を行う際の照査方法の概要を表-2 に、解析モデルを図-3 に示す。なお、側壁の影響は解析上考慮していない。

照査方法 I では、部材を線形梁要素によってモデル化し、応答変位法による照査を実施した。応答変位法は、地震による地盤変形を静的な荷重に置き換えて構造物に与える手法であり、地下構造物や類似するテクスパン工法の耐震性能照査において用いられている²⁾。地震時作用力の算出に際し、内空の地盤の地盤定数が不明であることから、N 値を 3, 5, 15 とし解析を実施した。支点条件はバネとしたが、支点の影響も確認するため、N 値 15 の場合においてのみ支点条件を固定とした場合も検証した。

照査方法 II では、部材をファイバー要素による非線形梁要素としてモデル化した。鉄筋およびコンクリートは道路橋示方書 V 編に示される応力ひずみ曲線を骨格曲線とした。応答変位法により算出した地震時の地盤変形による静的荷重を各要素に与えて周辺地盤に起因する地震の影響を考慮し、さらに自重の慣性力による影響を考慮するためレベル 2 地震による動的解析を実施した。節点位置には、図

表-1 淋シ谷橋 概要

竣工年	平成9年3月
橋長	26.000m
径間	単純
全幅員	14.400m
上部構造	RC固定アーチ
適用示方書	平成2年道路橋示方書

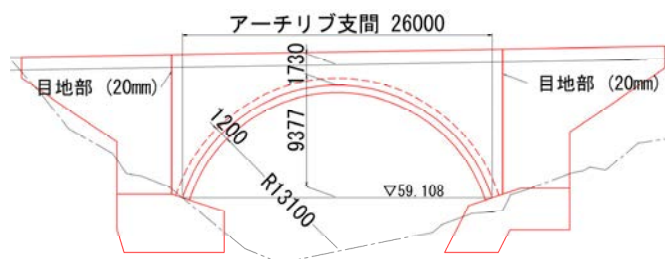


図-1 橋梁一般図 (単位: mm)

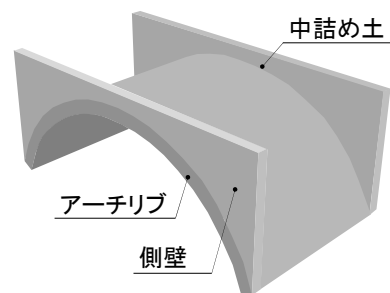


図-2 橋梁概略図

表-2 照査方法の概要

照査方法	I. 静的線形解析	II. 動的非線形解析
解析モデル	平面平組モデル	平面平組モデル
部材	線形	非線形(ファイバー要素)
支点条件	固定、ばね	ばね
受動抵抗バネ	なし	あり
地盤定数	N値3, 5, 15	N値15
地盤の影響	応答変位法	応答変位法
慣性力	考慮しない	考慮する

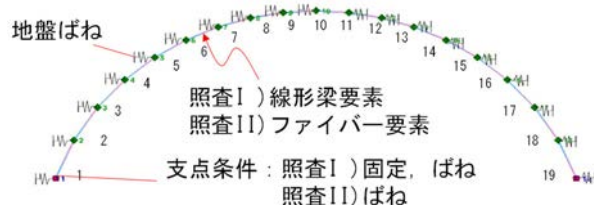


図-3 解析モデル図

キーワード RC 固定アーチ, 耐震性能評価, リダンダンシー, 応答変位法, 動的解析

連絡先 〒541-0045 大阪府大阪市中央区道修町1丁目6-7 (株) 建設技術研究所 TEL 06-6206-5555

-4に示す地盤の圧縮方向に抵抗する非線形バネを設けた．減衰モデルは Rayleigh 型減衰としたが，地盤による逸散減衰や，地盤と構造物の相互作用による減衰効果を考慮するため，地盤の受動ばねには図-5 に示すように，固有値解析における卓越モード時に減衰定数が 10%となる剛性比例型減衰を与えた．なお，地盤定数と支点条件の組み合わせとしては，N 値を 15，支点条件をバネとした．

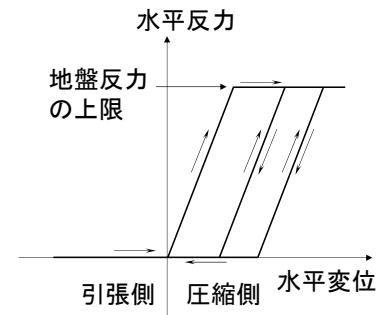


図-4 地盤ばねのモデル

3.2 耐震性能照査結果

図-6 に，照査方法 I および II において，応力が最も大きくなった基部断面の応力度照査結果を示す．

照査方法 I では，周辺地盤の N 値が大きいほど発生応力が大きくなる傾向を確認した．これは，N 値が大きいほど地震時の地盤変形が小さい一方，地盤反力係数が大きいため，地震時作用力が大きくなるのが要因である．コンクリートの圧縮応力 σ_c は全てのケースにおいて許容値以内となったが，軸方向鉄筋の引張応力 σ_s は，N 値が 15 の際に降伏応力度を超過することが確認された．また，N 値 15 においては支点条件をバネとした場合の照査も実施したが，応答値にほとんど影響はなかった．

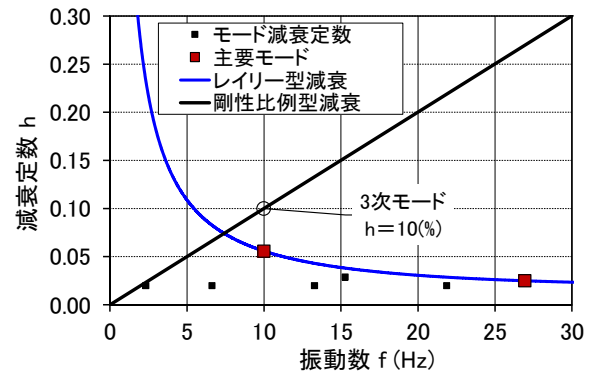
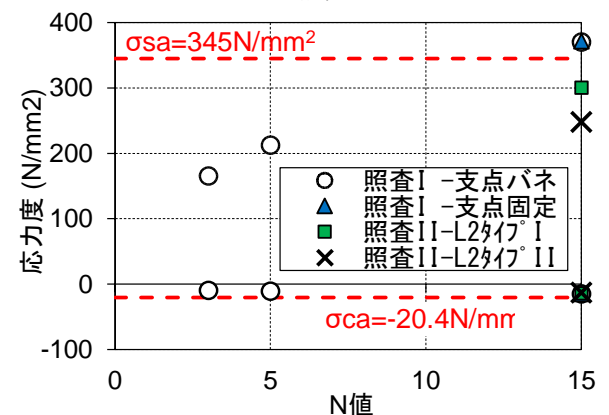


図-5 減衰モデル

照査方法 II では，コンクリート，軸方向鉄筋ともに発生応力は許容応力度以内となった．これは，部材の非線形特性を考慮したことで応力状態をより詳細に評価できたためであると考えられる．

4. 構造のリダンダンシー評価

対象橋梁はレベル 2 地震に対し所要の耐震性能を有するが，図-7 に示す地震時最大曲げモーメント分布図のとおり，スプリング部は曲げ応力が集中し最弱部となる．さらに，支点部は構造上排水が集まりやすく劣化が進行しやすい．当該箇所が損傷すると，固定アーチ構造の特殊性から橋の安定性が消失することが懸念される．よって，未曾有の大規模地震によりスプリング部が損傷した場合の構造のリダンダンシーを検討した．



※引張側：鉄筋，圧縮側：コンクリート

図-6 基部における応力度照査結果

検討に用いたモデルでは，アーチリブの支点条件をヒンジとして基部の損傷を再現した．耐震設計上の供用性の観点から地震後に交通開放ができるかを評価するために，死荷重および竣工時の活荷重 (TT-43) を載荷させた．その結果，全ての断面において部材の応力度は許容値以内であった．また図-8 に示すとおり，支点条件がバネの場合とヒンジの場合の常時荷重載荷時の鉛直変位は，最大で 2 mm 程度の差異であり，基部の損傷による鉛直変位は小さいと言える．そのため，万が一基部が損傷しても竣工時の活荷重レベルに相当する緊急車両の通行は可能な耐震性能を有している．

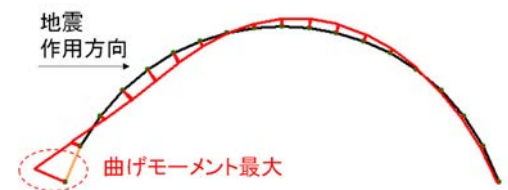


図-7 L2 地震時曲げモーメント図

5. まとめ

類似構造物の設計手法を参考に，地盤の不確実性を考慮した耐震性能照査と，弱点部が損傷した際のリダンダンシーを検討し，本橋は現況の状態ですべての耐震性能を満足できていると総合的に評価できた．

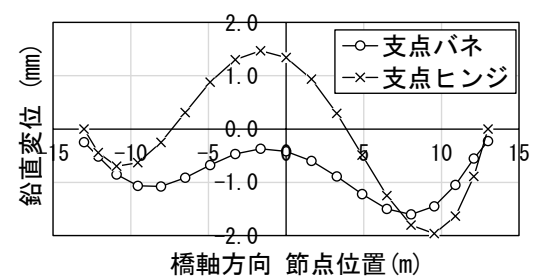


図-8 常時荷重載荷時の鉛直変位

参考文献：1) (社) 日本道路協会：道路橋示方書・同解説 V 耐震設計編，2012，2) (財) 先端建設技術センター テクスパン工法設計施工マニュアル検討委員会編：テクスパン工法設計施工マニュアル (案)，丸善 (株)，1998